

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа неразрушающего контроля и безопасности

Направление подготовки приборостроение

Отделение школы (НОЦ) отделение контроля и диагностики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка аппаратно-программного комплекса для УЗ томографии на основе секторной развёртки с использованием преобразователя на фазированной решётке

УДК 620.179.16:004.352

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б4А	Лен Никита Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Капранов Борис Иванович	д.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Спицын В.В.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Анищенко Ю.В.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мойзес Б.Б.	к.т.н.		

Томск – 2018 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения
Профессиональные компетенции	
P1	Применять современные базовые и специальные естественнонаучные, математические и инженерные знания для разработки, производства, отладки, настройки и аттестации средств приборостроения с использованием существующих и новых технологий, и учитывать в своей деятельности экономические, экологические аспекты и вопросы энергосбережения.
P2	Участвовать в технологической подготовке производства, подбирать и внедрять необходимые средства приборостроения в производство, предварительно оценив экономическую эффективность техпроцессов; принимать организационно-управленческие решения на основе экономического анализа.
P3	Эксплуатировать и обслуживать современные средств измерения и контроля на производстве, обеспечивать поверку приборов и прочее метрологическое сопровождение всех процессов производства и эксплуатации средств измерения и контроля; осуществлять технический контроль производства, включая внедрение систем менеджмента качества.
P4	Использовать творческий подход для разработки новых оригинальных идей проектирования и производства при решении конкретных задач приборостроительного производства, с использованием передовых технологий; критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делать выводы; использовать основы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности.
P5	Планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования по своему профилю с использованием новейших достижения науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта в области знаний, соответствующей выполняемой работе.

Код	Результат обучения
-----	--------------------

результата	
Р6	Использовать базовые знания в области проектного менеджмента и практики ведения бизнеса, в том числе менеджмента рисков и изменений, для ведения комплексной инженерной деятельности; уметь делать экономическую оценку разрабатываемым приборам, консультировать по вопросам проектирования конкурентоспособной продукции.
Универсальные компетенции	
Р7	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.
Р8	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, а также руководить командой, демонстрировать ответственность за результаты работы.
Р9	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инженерной деятельности.
Р10	Ориентироваться в вопросах безопасности и здравоохранения, юридических и исторических аспектах, а так же различных влияниях инженерных решений на социальную и окружающую среду
Р11	Следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам инженерной деятельности.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки приборостроение
Отделение контроля и диагностики

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой
_____ Суржиков А. П.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
1Б4А	Лен Никите Сергеевичу

Тема работы:

Утверждена приказом проректора-директора (директора) (дата, номер)	9729/С от 11.12.2017
---	----------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	7.06.2018
--	-----------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Объект исследования: ультразвуковая томография на основе фазированных решеток. Предмет исследования: аппаратно-программный комплекс для секторного сканирования. Цель работы – разработать механизм для перемещения ПЭП, организовать связь механизма с компьютером, хранение и обработку массива экспериментальных данных, формирование секторной томограммы изделия.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	1. Разработка механизма для перемещения ПЭП 2. Организовать связь механизма с ПК 3. Хранение и обработка массива данных на ПК 4. Формирование секторной томограммы объекта контроля на ПК
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Схемы 2. Изображения 3. Графики
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент,	Спицын Владислав Владимирович

ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	
Социальная ответственность	Анищенко Юлия Владимировна

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	11.09.17
---	-----------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Капранов Борис Иванович	д.т.н		11.09.2017

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б4А	Лен Никита Сергеевич		11.09.2017

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
1Б4А	Лен Никите Сергеевичу

Тема: Разработка аппаратно-программного комплекса для ультразвуковой томографии на основе секторной развёртки с использованием преобразователя на фазированной решётке.

Институт	Неразрушающего контроля	Кафедра	Точного приборостроения
Уровень образования	бакалавр	Направление / специальность	приборостроение

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах.
Нормы и нормативы расходования ресурсов	
Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Проведение предпроектного анализ: оценка потенциальных потребителей, проведение SWOT-анализа
Разработка устава научно-технического проекта	Определение целей и результатов
Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Планирование этапов работы, определение календарного графика
Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Оценка сравнительной эффективности проекта
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
Матрица SWOT	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Спицын В.В.	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б4А	Лен Никита Сергеевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1Б4А	Лен Никите Сергеевичу

Школа	ИШНКБ	Отделение	ОКД
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/ специальность	Приборостроение

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения

Целью данной ВКР является разработка аппаратно-программного комплекса для ультразвуковой томографии на основе секторной развёртки с использованием преобразователя на фазированной решётке.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность

*1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:
1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:*

*Отклонение показателей микроклимата в помещении;
Превышенный уровень ультразвука;
Отсутствие или недостаток естественного света;
Токсические и раздражающие вещества;
Умственное перенапряжение;
Электрический ток.*

2. Экологическая безопасность:

Воздействие на литосферу.

3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:

*- перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;
- выбор наиболее типичной ЧС
- разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;
- разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.*

4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:

Рациональная планировка рабочей зоны, требования к основным элементам рабочего места: рабочий стол, рабочий стул, ультразвуковой дефектоскоп, объект контроля, контактная жидкость.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Анищенко Ю.В.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б4А	Лен Никита Сергеевич		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа с. 74, рис. 24, табл. 9, 38 источников.

Ключевые слова: ультразвуковая томография, аппаратно-программный комплекс для секторного сканирования, реконструктивная томография, секторное сканирование, фазированные решетки.

Объектом исследования является: Аппаратно-программный комплекс для секторного сканирования и ультразвуковой метод неразрушающего контроля (ультразвуковая томография на основе фазированных решеток).

Цель работы – разработать механизм для перемещения ПЭП, организовать связь механизма с компьютером, хранение и обработку массива экспериментальных данных, формирование секторной томограммы изделия.

В процессе исследования проводились:

- Описание метода ультразвуковой томографии;
- Разработка аппаратно-программного комплекса
- Экспериментальные исследования

В результате исследования был разработан аппаратно-программный комплекс для перемещения ПЭП на основе секторной развертки, организована связь с ПК для хранения и обработки экспериментальных данных. Также была исследована ультразвуковая томография на основе фазированных решеток.

Область применения: дефектоскопия для исследования различных объектов контроля в лабораториях.

Обозначения и сокращения

УЗК – ультразвуковой контроль;

ФР – фазированные решетки;

ФАР – фазированные антенные решетки;

ОК – объект контроля;

АР – антенные решетки;

ПЭП – пьезоэлектрический преобразователь;

НК – неразрушающий контроль;

МНК – методы неразрушающего контроля;

УЗТ – ультразвуковая томография;

СОП – стандартный образец предприятия;

ЦТС – цирконат титанат свинца;

Оглавление

Введение.....	12
1. УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ.....	14
1.1. Акустические изображения.....	16
1.2. Ультразвуковая томография.....	19
1.3. Реконструкция акустических изображений.....	21
1.4. Виды преобразователей.....	23
1.4.1. Прямые преобразователи.....	23
1.4.2. Наклонные преобразователи.....	24
1.4.3. Раздельно-совмещенные преобразователи.....	25
1.4.4. Иммерсионные преобразователи.....	26
1.5. Сложности в создании устройств визуализации дефектов.....	28
1.6. Реконструкция сечения и секторное сканирование.....	30
1.7. Преобразователи с фазированными решетками.....	31
2. РАЗРАБОТКА АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА.....	39
2.1. Проектирование установки.....	39
2.2. Функциональные особенности.....	40
2.3. Описание аппаратно-программного комплекса для секторного сканирования.....	41
2.4. Принцип работы аппаратно-программного комплекса.....	41
2.5. Проверка работоспособности данного комплекса.....	42
2.6. Секторное сканирование на фазированных решетках.....	43
3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	47
3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	47
3.1.1. Анализ конкурентных технических решений.....	47
3.1.2. Технология QuaD.....	49
3.1.3. SWOT-анализ.....	52
3.2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований.....	54
3.2.1 Планирование научно-исследовательской работы.....	56

4. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	58
4.1. Производственная безопасность.....	58
4.1.1. Анализ вредных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.....	58
4.2. Экологическая безопасность.....	65
4.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	65
4.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	67
Заключение.....	69
Список использованных источников.....	71

Введение

Данная дипломная работа направлена на исследования в области неразрушающего контроля, а точнее в области ультразвуковой дефектоскопии. Основным смыслом контроля заключается в исследовании материалов, оценке структуры материала объекта, измерение геометрических размеров объекта контроля, а так же в оценке безопасного использования детали. Так как в промышленности увеличиваются требования к безопасности объектов, существует необходимость совершенствовать методы контроля.

Основным направлением совершенствования ультразвуковой дефектоскопии является улучшение получаемой информации результатов контроля. Главное в ультразвуковом контроле – это визуальная структура объекта контроля. Для этого развивается и используется реконструктивная ультразвуковая томография. Под понятием реконструкция можно понять получение массива данных полученных в ходе контроля с разных ракурсов и математическую обработку данных для получения изображения объекта контроля. Первичную информацию об объекте получают с использованием различных методов ультразвукового сканирования. На данный момент активно развивается секторное сканирование. Это метод в котором используются преобразователи создающие пучки, выходящие из точки выхода преобразователя под разными углами наклона, то есть перемещается в пределах определенного сектора. В результате измерения получаем информацию представленную в виде эхо-изображений отражателя. Эти изображения могут использоваться для реконструкции в плоскости сканирования сечения объекта.

Основным недостатком данного метода является необходимость разработки специальных аппаратно-программных комплексов и методик для работы с разными объектами. Целями исследования является изучение литературы, разработка аппаратно-программного комплекса для секторного сканирования, изучение дефектоскопа OmniScan MX PA, сравнение

секторного сканирования с аппаратно-програмным комплексом со сканированием на фазированных решетках.

1. УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ

Ультразвуковой контроль широко применяется в дефектоскопии изделий. Опираясь на отчет Института Доктора Ферстера (INSTITUTE DR. FORSTER) [1], можно увидеть как разделены объемы неразрушающего контроля по методам – рисунок 1.



Рисунок 1. Разделение объемов неразрушающего контроля по основным методам.

По данному отчету можно сделать вывод, что ультразвуковой контроль занимает первое место по использованию в дефектоскопии, так как его часть от общего объема неразрушающего контроля составляет 32%.

Основное положение в Российской промышленности так же занимает ультразвуковой контроль. Это можно судить по числу специалистов работающих по данному направлению. По данным Уральского центра аттестации в период 1994 – 2001 года было аттестовано 1595 специалистов в области дефектоскопии 2-го уровня, из них основная часть являются специалистами по ультразвуковым методам контроля [2].

Средства ультразвукового контроля предназначены для измерения параметров дефекта, таких как координаты дефекта, амплитуда эхосигнала, размеры. Совершенствование методик и ультразвуковых дефектоскопов проходит в рамках указанных параметров. С годами менялись характеристики дефектоскопов – уменьшались габариты и вес, появилось множество функций, таких как запоминание настроек, запоминание данных, связь с ЭВМ, подключение к ПК, временная регулировка чувствительности и т.д. После получения информации и анализов параметров, таких как условные размеры, амплитуды, координат принимается решение о соответствии изделия к пригодности.

В первую очередь совершенствование ультразвуковой аппаратуры обусловлено достижениями в микроэлектронике. Создание технологий интегральных схем и появление микропроцессоров способствовало реализации новых идей в ультразвуковой аппаратуре.

На основных различных физических методах разрабатываются средства визуализации несплошностей [4-6]. Изображение внутренней структуры изделия позволяет определить форму, размеры и местоположение дефектов, что позволяет определить пригодность изделия. После анализа изображения определяются происхождение дефектов, принимаются решения о возможности эксплуатации или о возможности ремонта оборудования.

С точки зрения формирования изображения ультразвуковой контроль является самым продуктивным. Высокая чувствительность, оперативность и безопасность применения ультразвукового метода, по сравнению с другими методами, делает его самым конкурентоспособным.

Одной из важных характеристик системы ультразвукового контроля является воспроизводимость. Результаты контроля стандартного образца показания должны быть одинаковыми при замене ультразвукового преобразователя.

Главным измеряемым параметром в методиках ультразвукового контроля [7-26] является амплитуда эхосигнала от дефекта. Для разбраковки

эхосигнала по амплитуде ставится браковочный интервал. По стандартному образцу предприятия настраивается браковочный интервал, в котором сделаны максимально допустимые дефекты.

1.1.Акустические изображения

Обнаружение и идентификация различных отклонений от заданных свойств объекта, сред и тел, исследование процессов и явлений происходящих в разных средах является задачей интроскопии. Некоторые средства и методы интроскопии, используются для неразрушающего контроля промышленных материалов и изделий, сходны с средствами и методами дефектоскопии и рентгеноскопии [44].

Интроскопия реализуется с применением разных проникающих излучений и полей: всего освоенного диапазона электромагнитных колебаний, упругих волн, электрических, магнитостатических, гравитационных полей и потоков элементарных частиц [44]. Ультразвуковая интроскопия основывается на свойстве ультразвука проникать сквозь, строительный материал, пластмассы, металл, живую ткань и оптически непрозрачные жидкости.

Главные усилия исследователей направлены в большей степени на создание методов формирования и обработки акустических изображений и сигналов, а не на создание средств измерений.

Оптический эквивалент изображений, в котором цвет и яркость отражают акустические свойства изделия называется акустическим изображением.

Для того чтобы описать акустические свойства изделий в основном используют функцию неоднородностей, которые отличаются от нуля лишь в местах нахождения неоднородностей. Если данная область неоднородностей со скоростью звука $c(r)$ располагается в однородной среде со скоростью звука c_0 то функция имеет вид

$$O(r)=1-c_0c(r) или O(r)=-i \quad (1)$$

где r – радиус-вектор текущей точки.

Формой визуализации функций неоднородности в таком случае является акустическое изображение.

Главный смысл построения акустических изображений является представление данных контролируемых изделий в форме, позволяющей человеку проанализировать привычное ему изображение. Человеческий мозг способен анализировать изображения и выполнять операции, которые не могут реализовать алгоритмически. При обработке изображения человеком в основе лежит принцип анализа отдельных точек изображения с выделением определенных признаков. Поэтому используют формат акустического изображения для извлечения максимального объема информации из отдельных сигналов.

Существует три основных вида изображения в ультразвуковой интроскопии: томографическое, ортографическое, голографическое.

Томографическое – в основном соответствует плоскости прозвучивания представляя собой визуализацию слоя изделия.

Ортографическое – идентично обыкновенной фотографии или рентгеновскому снимку.

Голографическое – это объемное изображение изделия, полученное в следствии визуализации рассеянного звукового слоя.

Томографическое изображение строится при помощи методов акустической реконструктивной томографии по набору данных полученных в ходе испытаний. Общими для всех томографических методов являются методы получения изображения по набору проекционных данных. Эти методы основаны на свойстве систем линейных уравнений, то есть достаточно иметь число линей – независимых уравнений не меньше числа элементов изображения. Значения измеряемого параметра во всех точках сечения представляет собой решение данной системы уравнений.

Поля локальных затуханий или поля локальных скоростей могут быть визуализированы в акустической томографии.

Томографическое изображение – это масштабное изображение распределения акустических характеристик трехмерных объектов в определенных сечениях.

Акустической томографией называется направление акустики, включающее исследование процессов, связанных с образованием акустические томограмм.

С любым сечением реального изделия может быть сопоставлено томографическое изображение. Томографические изображения могут быть как получены непосредственно, также могут быть реконструированы из набора полученных изображений. В первом случае это нереконструктивная томография, а во втором - это реконструктивная томография.

Рассмотрим измерения в котором будет использоваться преобразователь углового сканирования, где качающий пьезоэлектрический дисковой датчик, принимающий отраженные сигналы и излучающий в процессе качения короткие импульсы является центральным элементом. В защитную капсулу, заполненную контактной жидкостью помещают пьезодатчик с микродвигателем и датчик угла поворота. Полагается, что результат изображения в точке $M(r, \varphi)$ равняется уровню поступающего сигнала, передающееся на датчик через время $t = 2r/c$ после момента излучения и при наклоне датчика на угол равный φ . В ходе измерений получается секторное изображение в пределах определенной зоны, границы этой зоны показаны на рисунке 2 штриховой линией. Чтобы отобразить результаты измерений на мониторе нужно пересчитать координаты измерений $M(r, \varphi)$ в декартовы координаты $M(x, y)$, что можно осуществить в конверторах изображений.

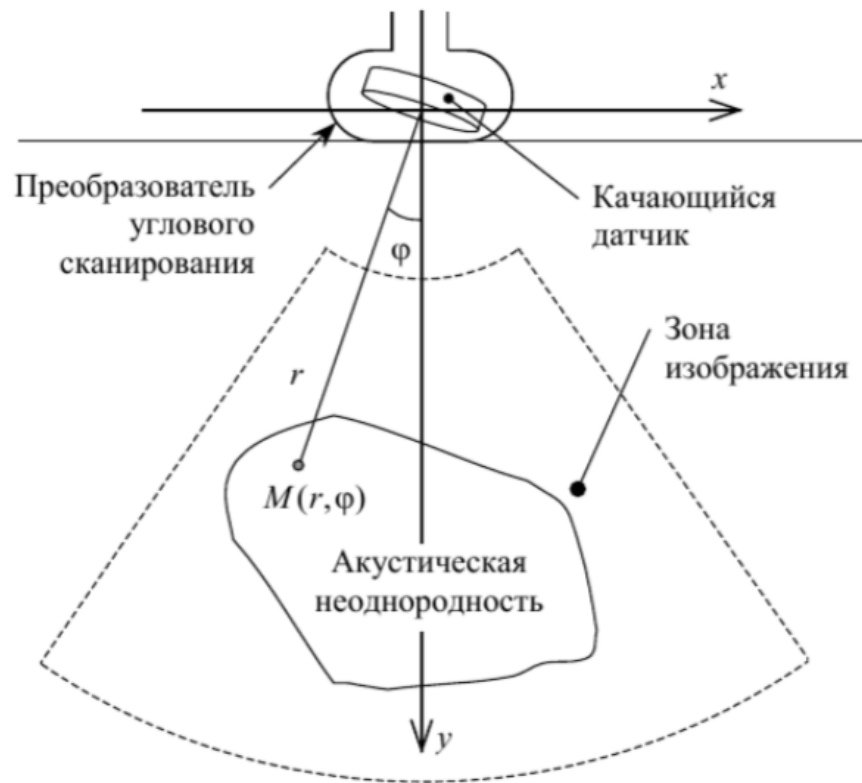


Рисунок 2. Схема измерения, создающая акустическое изображение без проведения реконструкции.

Отражающая способность отображается в каждой точке на секторном изображении. В точке $M(r, \varphi)$ амплитудой отраженного сигнала описывается сигнала отражающая способность. Амплитуда принимаемого сигнала модулирует яркость пикселей на экране, отображающих определенную точку.

1.2. Ультразвуковая томография

Томографические установки используются для представления данных контроля в видео изображения.

Так как ультразвуковое излучение не влияет пагубно на здоровье человека, оно часто применяется в медицинских исследованиях. Также с помощью ультразвукового контроля значительно проще выполнять построение изображений мягких тканей в практической реализации и с точки зрения теоретической постановки.

Эхоимпульсный метод используется в ультразвуковых сканерах. Ультразвуковые преобразователи с частотой 3-10 МГц применяются для прозвучивания мягких тканей размерами 10-15 см. А преобразователи с частотой 7-15 МГц применяется для исследования малых объектов.

Многоэлементные ультразвуковые преобразователи используются в системах ультразвуковой диагностики. Они поставляются в виде акустических блоков. В данный момент используются блоки, в которых содержится до 128 пьезоэлементов.

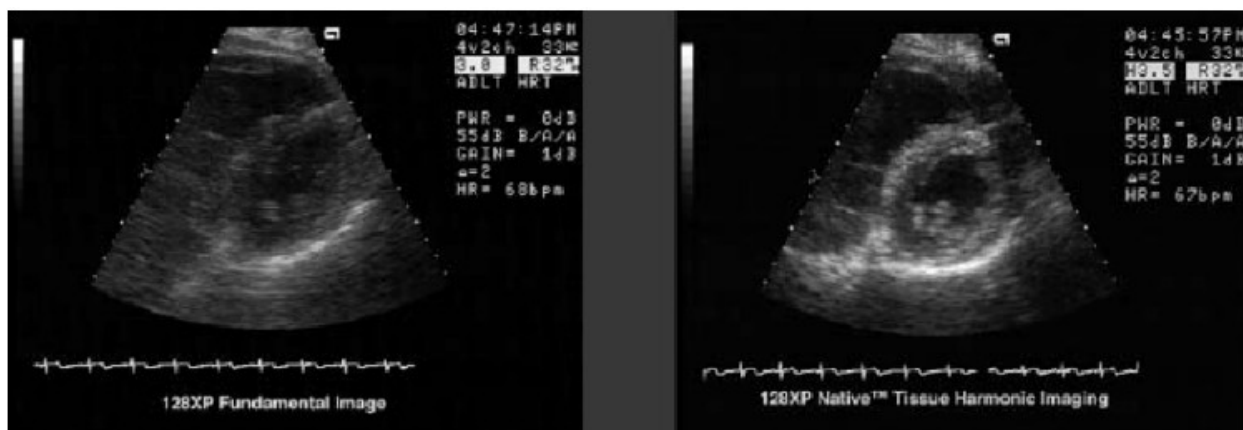


Рисунок 3. Изображение сердца человека.

Для примера можно взять аппарат фирмы Acuson CYPRESS 128XP. Вес данной установки составляет 9 кг. На данной установке можно получить изображение в высоком качестве сердце человека (Рисунок 3). У данной установки тратиться около 6 секунд для синтеза изображения. Эффект объемности появляется в результате того, что изображение обработано с использованием пространственного фильтра.

Пространственной разрешающей способностью и апертурой изображения характеризуются медицинские ультразвуковые сканеры. Данный параметр у большинства установок составляет порядка 1 см².

Задача визуализации рельефа поверхности объекта с высоким разрешением решается с помощью ряда исследовательских установок, которые называют ультразвуковые микроскопы [27-35]. Прозвучивание поверхностей в данных установках происходит иммерсионным способом (Рисунок 4).

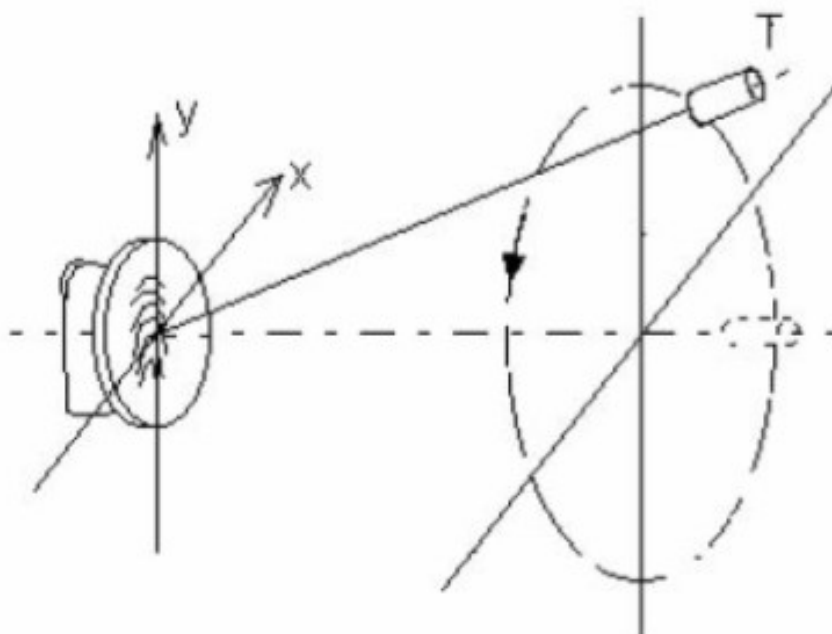


Рисунок 4. Схема прозвучивания объекта в водяной ванне.

Детальную информацию о рельефе поверхности можно получить, если сформировать узкий ультразвуковой пучок. Для этого используются ультразвуковые колебания с короткой длиной волны. Построить изображение с высоким фронтальным разрешением можно при дополнительной обработке эхосигналов с помощью метода синтезированной апертуры.

Для визуализации дефектов в металле активно идут работы по созданию ультразвуковых сканеров.

1.3.Реконструкция акустических изображений.

Ряд технологий реконструкции акустических изображений называется методом синтезированной апертуры. Для того, чтобы уменьшить неопределенности расположения отражателя, получаемых из-за волновой природы излучения используют математические приемы формирования изображений. Неполную информацию об отражателях в ультразвуковой системе несут эхосигналы. SAFT – технология искусственной фокусировки апертуры. Для того чтобы уменьшить неопределенность формы и расположения дефектов пользуются методами SAFT, которые используют

различную обработку сигналов. Благодаря SAFT, данные о дефектах выводятся в виде 2-х или 3-х мерных изображений.

Для получения информации о дефектах выделяют два метода: эхо-метод и теневой метод.

Эхо-метод и методы синтезированной апертуры представляют наибольший интерес. Существует два основных метода синтеза изображений – метод расчета в частотной области и метод расчета во временной области.

Применение расчетов в частотной области используют в медицинских ультразвуковых аппаратах. Для ультразвукового контроля металла применение расчетов в частотной области не эффективно, так как в металле большая скорость звука и, следовательно большая длина волны. Поэтому метод расчета во временной области используется чаще в ультразвуковых установках, предназначенных для алюминиевых сплавов и сталей.

Эхосигналы полученные из разных направлений прозвучивания используются в методе расчета во временной области. Акустическое изображение вычисляется по формуле:

$$b(x, z) = \left| \sum_{x_b=x_{b1}}^{x_{b2}} \sum_{x_e=x_{e1}}^{x_{e2}} P_c(\tau_{be}) \right|, (2)$$

Когда прозвучивание осуществляется при помощи акустического блока, который содержит набор преобразователей, тогда используется формула (2).

$$b(x, z) = \left| \int_{x_{b1}}^{x_{b2}} \int_{x_{e1}}^{x_{e2}} P_c(\tau_{be}) dx_b dx_e \right|, (3)$$

Метод расчета во временной области требует больших вычислительных затрат, но легко реализуется на ЭВМ. На ЭВМ данным методом с большой производительностью может быть реализовано вычисление изображения в реальном времени.

Такие расчеты проводятся для разных глубин z и из совокупности 2-х мерных картин получают 3-х мерное изображение.

1.4. Виды преобразователей

Современные дефектоскопы отличаются по некоторым признакам:

- Способ контакта с объектом контроля (щелевые, контактные, иммерсионные преобразователи);
- Направление ультразвуковых колебаний к поверхности объекта контроля (прямые и наклонные преобразователи);
- Способы соединения с устройствами: совмещенные (один элемент является излучателем и приемником), отдельные (один элемент является источником излучения, а другой – приемником).

Помимо таких преобразователей существуют еще и другие: широкозахватные, с переменным углом ввода, фокусирующие, для контроля грубой поверхности.

1.4.1. Прямые преобразователи

Способ контакта у данных преобразователей – контактный. Способ соединения с устройствами – совмещенный.

В основном такие преобразователи изготавливаются из цирконат титанат свинца (ЦТС). Толщина пластины делается такой, чтобы она равнялась половине длины волны. На рисунке 5 показаны примеры конструкций преобразователей.

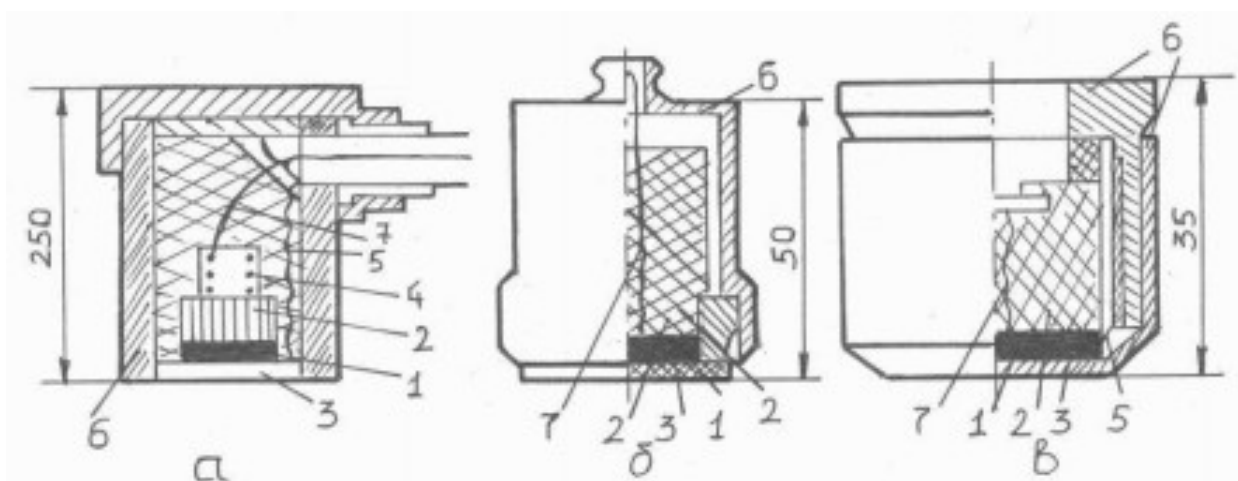


Рисунок 5. Прямой преобразователь. 1 – пластина; 2 – демпфер; 3 – протектор; 4 – предусилитель; 5, 7 – проводники; 6 – корпус.

С помощью проводников 5 и 7 пластина 1 соединяется с кабелем и дефектоскопом. Один из электродов заземляется.

ИЦ – 1 – это преобразователь предназначенный для работы с дефектоскопами, в которых в приборе размещена катушка индуктивности. В ИЦ – 1 из эпоксидной смолы изготовлен демпфер. Для увеличения характеристического импеданса демпфера и увеличения широкополосности преобразователя, используют порошок, который состоит из вольфрама или свинца. Пропорция данного порошка составляет 1:12 к массе прилегающей пластины. Протектор 3 преобразователя должен обеспечивать высокую чувствительность преобразователя, обладать высокой износостойкостью и обеспечивать стабильность акустического контакта с объектом контроля.

Протектор 3 преобразователя ИЦ – 1 изготавливают из эпоксидной смолы с металлическим напылением или же напыление из лигнофоля (спрессованная древесина). Такие материалы используются потому что они обладают повышенным затуханием ультразвука. Так же их использование увеличивает стабильность акустического тракта, но в сравнении с металлокерамическим, его износостойкость хуже.

1.4.2. Наклонные преобразователи

Главным отличием прямого преобразователя от наклонного является наличие наклонной призмы (Рисунок 6).

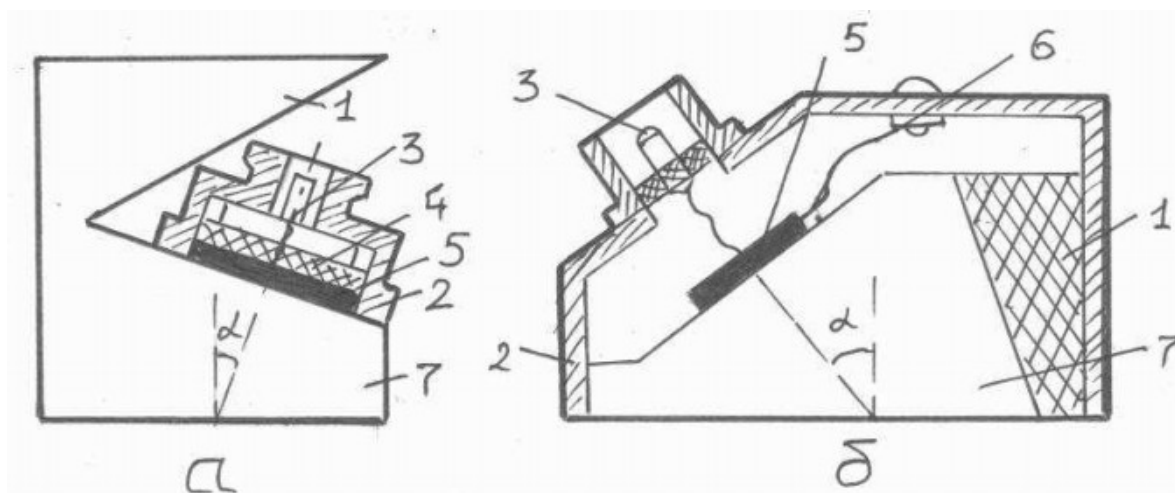


Рисунок 6. Наклонный преобразователь: 1, 7 – призма; 2 – корпус; 3 – предусилитель; 4 – протектор; 5, демпфер.

Пьезоэлемент излучает в продольные волны, которые преломляются на границе призмы с изделием и преобразуются в поперечные. Демпфер в таких преобразователях изготавливают из материала который имеет малое акустическое сопротивление, либо вообще отсутствует. Призму преобразователя делают из оргстекла. Преломляющий угол или угол падения луча подбирают такой, чтобы в объекте контроля появлялись только поперечные волны. Такое условие выполняется только между первым и вторым критическими углами. Основное внимание делается на то, чтобы поверхностная волна не возбуждалась, потому что она вызывает появление интенсивных ложных сигналов.

Необходимо выполнить следующее условие

$$\alpha + \frac{\lambda_p}{2\alpha} < \beta_s$$

где: λ_p - длина волны в материальной призме;

β_s – угол наклона призмы, при которой возбуждается поверхностная волна

2α - диаметр пьезопластины.

Наклонные преобразователи часто используют при контроле сварных швов. Подбирая нужные углы наклона призмы, с помощью наклонных преобразователей возбуждают поверхностные и поверхностно-наклонные волны и также разные моды волн в стержнях и пластинах.

Большое внимание при разработке преобразователей уделяют на то, чтобы отраженные волны от призмы попадали не на пьезоплатину, а попадали в ловушку.

Грани ловушек ультразвуковых волн делают ребристыми для того, чтобы улучшить гашение ультразвуковых волн.

1.4.3. Раздельно-совмещенные преобразователи

На рисунке 7 показаны раздельно-совмещенные преобразователи.

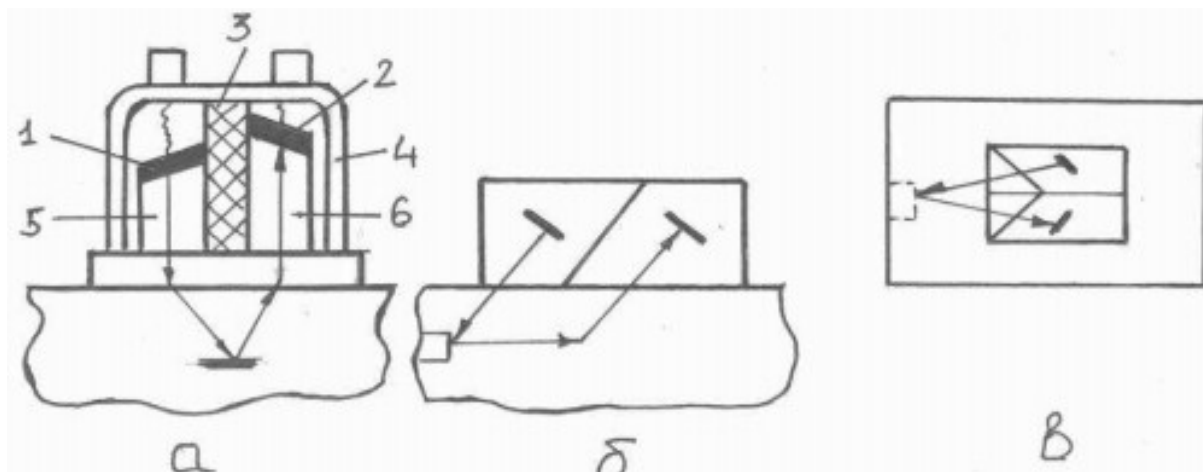


Рисунок 7 - Раздельно-совмещенные преобразователи: 1 – излучатель; 2 – экран; 3 – приёмник; 4 – корпус; 5, 6 – углы наклон призм.

В них излучатель 1 и приемник 3 соединены в один корпус 4 и поделены акустическим и гальваническим экраном 2. Гальваническая и акустическая изоляция обязаны быть такими, чтобы зондирующий импульс почти никак не поступал в приемник. Изменяя углы призм 5 и 6, промежутком между ними, высотой и размерами пьезоэлементов, возможно менять наименьшую и наибольшую глубину прозвучивания, снизить мертвую зону вплоть до 1-2 миллиметров. Подобные преобразователи используют кроме того как вид наклонного преобразователя.

В этом случае призмы преобразователя делаются таким образом, для того чтобы гарантировать большой угол наклона общей оси преобразователя и существенно уменьшить угол встречи осей излучателя и приемника. С целью возбуждения и приема поверхностно-продольных волн используются преобразователи только лишь раздельно-совмещенного вида, так как большой уровень помех в призме целиком скрывает полезные сигналы при работе преобразователя по совмещенной схеме.

1.4.4. Иммерсионные преобразователи

Иммерсионные преобразователи, нужны с целью контролирования изделий, которое помещено в иммерсионные ванну. Различие от прямых контактных преобразователей в том, что подобные преобразователи обладают усиленный характеристический импеданс демпфера, протектор

производят из эпоксидной смолы, толщина которого равняется одной четвертой длины волны. Такого рода протектор гарантирует просветление границы пьезоэлемента – гидроизоляцию платинки и иммерсионную жидкость.

Преимущество иммерсионного метода состоит в значительной стабильности акустического контакта. Согласно данной причине предложены разнообразные конструкции преобразователей, которые способны сохранить иммерсионную жидкость на месте контакта – локально-иммерсионные преобразователи.

Одна из систем применяется с целью обеспечения акустического контакта постоянно истекающий поток жидкости.

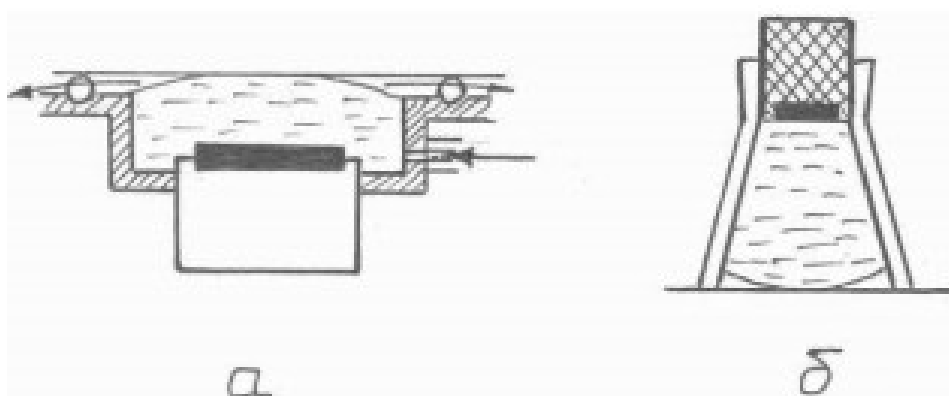


Рисунок 8 – Иммерсионные преобразователи

В случае если такого рода преобразователь станет находится сверху над изделием, потребление жидкости в нём станет огромно. Согласно данному обстоятельству его как правило располагают снизу. В случае если напор станет слабым на открытой поверхности жидкости, будет формироваться выпуклый мениск и жидкости будет практически не вытекать. Такие преобразователи применяются с пьезопластинами небольшого диаметра. Для пьезопластин у которых большой диаметр изобретены локальные иммерсионные ванны с тонкой гибкой мембраной, которые мешают вытеканию жидкости и достаточно хорошо охватывают выпуклости плоскости. Мембрану изготавливают из маслоупорной резины либо из полиуретана, характеристический импеданс который подобен к импедансу

воды. Из-за такого рода мембраны эхо-сигнал от границы мембрана-жидкость почти отсутствует.

1.5.Сложности в создании устройств визуализации дефектов

Ультразвуковой сканер должен максимально отображать размеры, форму и местоположение дефектов, а так же надежно отображать и выявлять их. Изображение сканера не должно быть похоже на реальное изображение, а должно больше быть похожим на чертеж изделия с дефектами. После анализа, оператору прибор представляет данные в форме удобном для анализа дефектов [2].

В таком случае, главная проблема состоит в разработке акустического блока. А другой проблемой является интерпретация эхосигналов в виде отраженных от границ на изображении.

Ультразвуковой преобразователь прозвучивающий некоторый дефект и работающий в совмещенном режиме показан на рисунке 9. В ходе анализа получаем эхосигнал от дефекта.

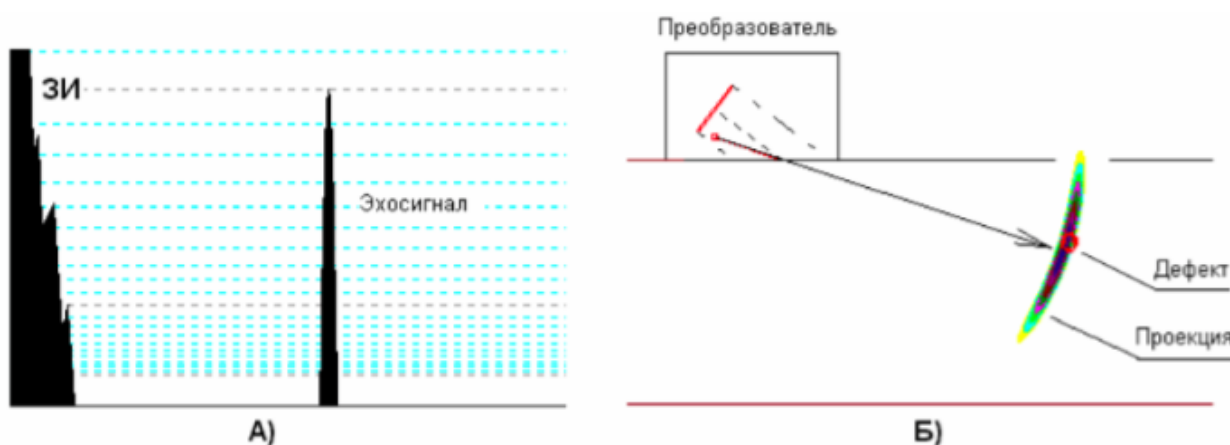


Рисунок 9. Эхосигнал от дефекта (А). Проекция эхосигнала в плоскости изображения объекта (Б).

Можно определить расположение дефекта из анализа изображения отражателя и эхосигнала. Отражатели могут находиться в некоторой области в пространстве с которой можно сопоставить эхосигнал. Вероятность выявления отражателя должна охарактеризовать интенсивность изображения в данной области. Интенсивность изображения должна быть

пропорциональна амплитуде эхосигнала $F(L)$ и пропорциональна чувствительности схемы прозвучивания $U(x,y)$ так как отражатели имеют одинаковую вероятность ориентации и одинаковую вероятность нахождения в любой точке. Определим отражающие шансы выявления дефектов в виде:

$$P(x,y)=|F(L)U(x,y)|, (4)$$

Полученное изображение содержит интерференционную составляющую, которая появилась из-за волновых свойств излучения. К интерпретации картин приводит дальнейшая обработка изображения $P(x,y)$ при реконструкции. Шумовая составляющая которая будет содержаться в результирующем изображении, называется спекл-шум.

Проекцией результатов ультразвукового зондирования на плоскость объекта является $P(x,y)$ [2].

Картина сигналов усложняется для отражателей с гладкой поверхностью.

Прозвучивание с помощью наклонного ультразвукового преобразователя бокового цилиндрического отверстия в образце из стали показано на рисунке 10А.

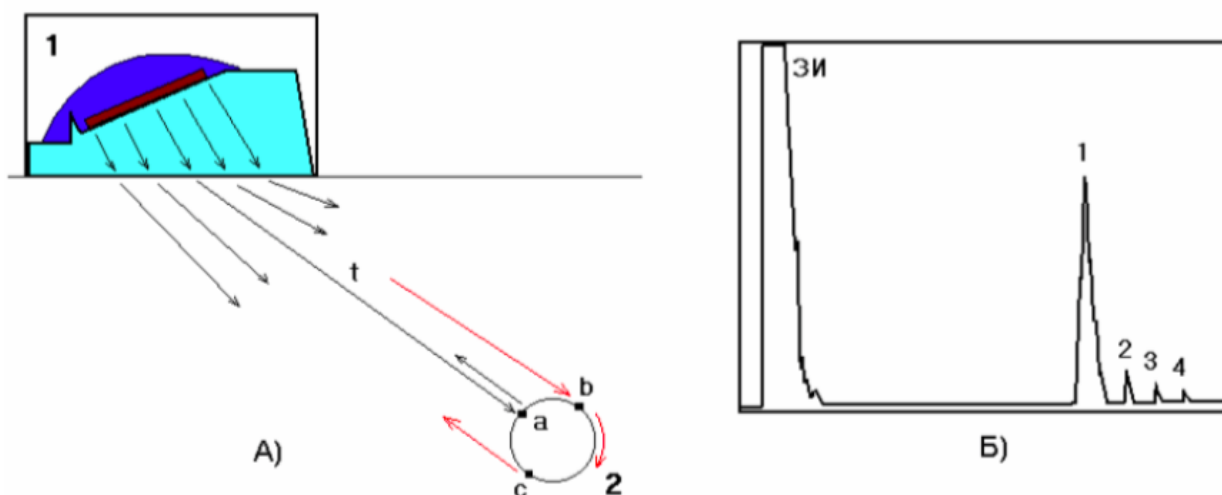


Рисунок 10. Прозвучивание наклонным ультразвуковым преобразователем бокового цилиндрического отверстия.

Там где поверхность отверстия перпендикулярна направлению прозвучивания, происходит отражение ультразвукового зондирующего импульса от отверстия, точка «а». Точка «b», там где поперечные волны

падают касательно к поверхности отверстия, и возбуждают бегущую по поверхности отверстия волну Рэлеевского типа. Эта волна излучает вторичные поперечные волны в объеме металла. Эти волны проходят касательно поверхности отверстия и достигают точки «с». В итоге после основного эхосигнала 1 (рисунок 10Б) появляются несколько затухающих сигналов 2, 3, 4.

Таким образом, от различных отражателей, при визуализации, возникает неоднородность интерпретации эхосигналов.

Многоэлементные преобразователи и блоки используются в ультразвуковой аппаратуре. Данные блоки состоят из нескольких изолированных преобразователей. Для охвата области реконструкции преобразователей выбираются параметры ультразвукового поля под каждый преобразователь. Для этого используются преобразователи с широкой диаграммой направленности.

1.6.Реконструкция сечения и секторное сканирование

Секторное сканирование – Это сканирование, где акустические лучи расположены веером (рисунок 11).

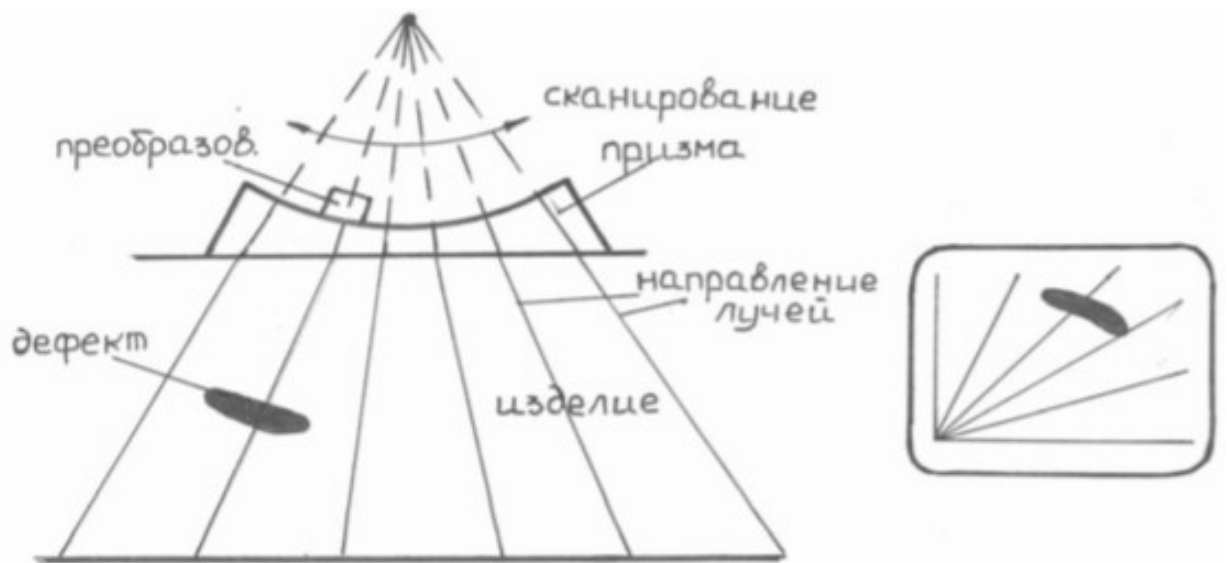


Рисунок 11. Секторное сканирование.

Преимуществами данного метода сканирования является развертка малой области без перемещения преобразователя.

Информацию о характеристиках объекта контроля несут:

- Частотный спектр импульса;
- Амплитуда импульса;
- Форма огибающей импульса;
- Временное запаздание импульса

Изображения могут строиться с использованием любого из этих признаков или их совмещением.

На оборудовании с фазированными решетками возможно секторное сканирование, так называемый S-скан.

1.7. Преобразователи с фазированными решетками

Фазированные решётки – это набор нескольких пьезоэлементов, которые конструктивно соединены в одном корпусе преобразователя (рисунок 12).

Физический принцип работы фазированных решёток в составе ультразвукового дефектоскопа состоит в генерации ультразвуковых волн всеми пьезоэлементами, которые в комплексе сформировывают ультразвуковой пучок. Ультразвуковой контроль с помощью фазированных решеток обладает достоинствами перед обыкновенным ультразвуковым контролем. Можно менять угол наклона луча и фокусировку, а кроме этого регулировать геометрию эхо-сигналов с целью минимизации ложных индикаций.

Фазированные решётки предоставляют возможность проводить контроль геометрически трудных деталей без необходимости передвижения датчика и объекта.

Как правило, активный элемент преобразователя представляет собой тонкую пьезокерамическую пластину круглой или квадратной формы, которая преобразует электрическую энергию в механическую и наоборот. Она защищена износостойкой накладкой либо акустической линзой и закрепляется на блоке из демпфирующего материала, который предназначен для остановки вибраций в преобразователе после испускания импульса. Преобразователи на фазированных решетках обладают самыми разными

формами, размерами, диапазоном частот и числом элементов. Их общим отличием является пьезоэлектрический элемент, разделенный на некоторое количество сегментов. Современные преобразователи на фазированных решетках для промышленного НК как правило производятся из пьезокompозитов, которые, в свою очередь, состоят из большого количества маленьких тонких сегментов пьезоэлектрической керамики, встроенных в матрицу из полимера. Несмотря на то, что процедура изготовления композитных преобразователей труднее, их чувствительность, по сравнению с подобными пьезокерамическими преобразователями, больше на 10–30 дБ.

Сегментное металлическое покрытие обеспечивает электрическое разделение элементов с целью их возбуждения вне зависимости друг от друга. Данный сегментированный элемент вставляется в преобразователь с защитным слоем. В конструкцию преобразователя кроме того входит вибродемпфирующий материал, соединители кабеля и корпус.

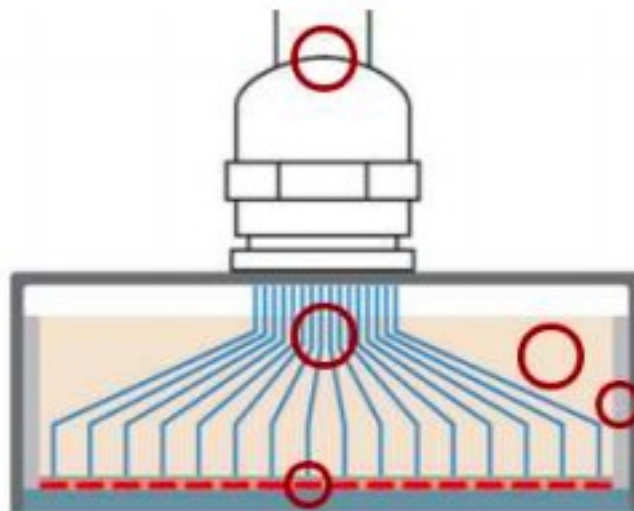


Рисунок 12. Преобразователь с фазированной решёткой в разрезе

В конструкцию преобразователя на ФР входит пластмассовая призма. Призмы применяются при контроле продольными и поперечными волнами, а кроме того при линейном сканировании прямым преобразователем. Призмы осуществляют одну и ту же функцию как в системах с фазированными решетками, таким образом и в традиционных одноэлементных преобразователях, т.е. передают звуковую энергию из преобразователя в

объект контроля таким образом, что она меняется или преломляется под нужным углом в соответствии с законом Снеллиуса (закон синусов). Поскольку ФР-система применяют функцию управления лучом для направления лучей под разными углами, этот эффект преломления является частью процесса генерации луча. Призмы для поперечной волны внешне очень схожи на призмы классических преобразователей.

Конструктивно фазированные решётки – это набор пьезоэлементов разной формы, в виде прямоугольных, кольцеобразных, которые разделены между собой зазорами [26].

На практике огромное распространение преобрели фазированные решетки, которые представляют собой набор эквидистантно находящихся, развязанных между собой акустически и электрически однотипных полосковых пьезоэлементов, установленных вдоль одной линии на общем протекторе (см. рисунок 13).

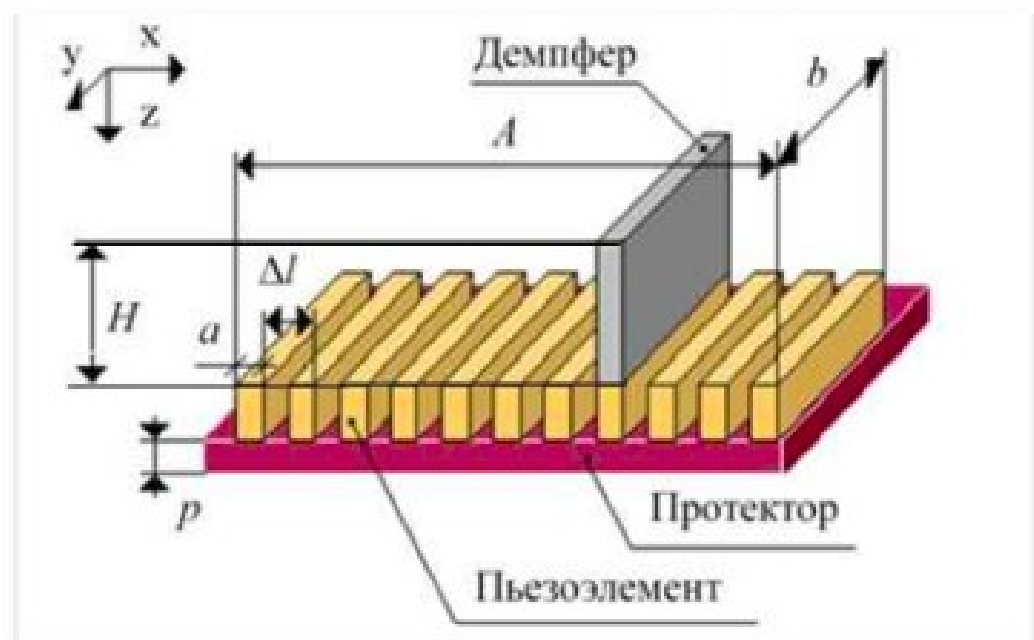


Рисунок 13. Схематическое изображение конструкции многоэлементной фазированной решётке: A – активная апертура фазированной решетки; a – ширина пьезоэлемента решетки; b – длина пьезоэлемента решетки; Δl – период решетки; p – толщина протектора; H – толщина демпфера

Контактные площадки элементов металлизуются, после к ним припаиваются соединительные провода, объединенные в жгут.

В основном их количество в блоке составляет 32, 64 и 128 элементов. Данная фазированная решетка работает на частотах от 1 до 10 МГц.

Конструкция преобразователя на фазированных решетках различаются высокой сложностью, трудностью воспроизведения характеристик отдельных элементов. Таким образом, цена фазированных решеток очень высока. [27].

На фазированные решетки с многоэлементными преобразователями дополнительно могут быть установлены призмы различной формы. Необходимы они с целью ввода поперечной волны под большим углом к поверхности или же для компенсации формы изделия (рисунок 14).

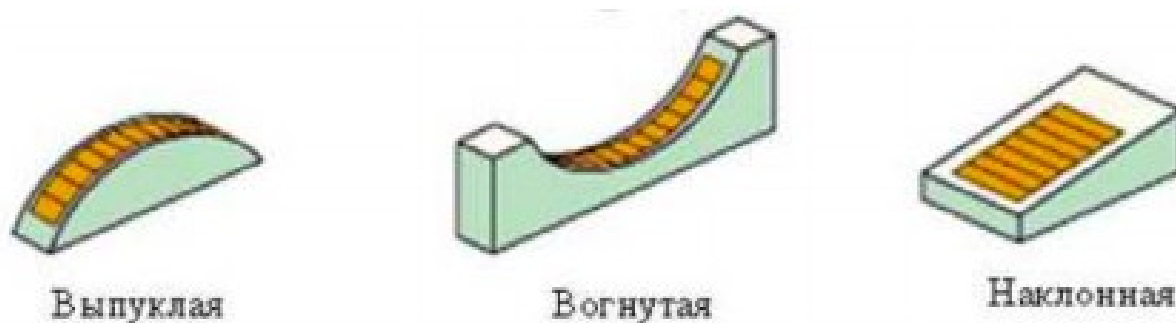


Рисунок 14. Различные формы призм для преобразователей на фазированной решётке

В ультразвуковом контроле фазированных решетках производятся ультразвуковые лучи с настраиваемыми углами ввода, размером фокусного пятна и фокусным расстоянием. Однако при этом можно также изменить сформировать луч в разных секторах ФР. Наличие подобных функций открывает целый ряд новейших возможностей, а непосредственно, быстрое изменение характеристик угла направления сканирования, при постоянном положении датчика.

Подобная технология дает возможность сменить собой целый набор датчиков и разного типа механические компоненты. При данном контроле лучом, переменный угол коэффициента обнаружения дефектов выше, независимо от ориентации луча, а соотношение сигнал-шум остается

постоянно наилучшим. Формирование результирующей волны с нужным углом ввода в металл представлена на рисунке 15.

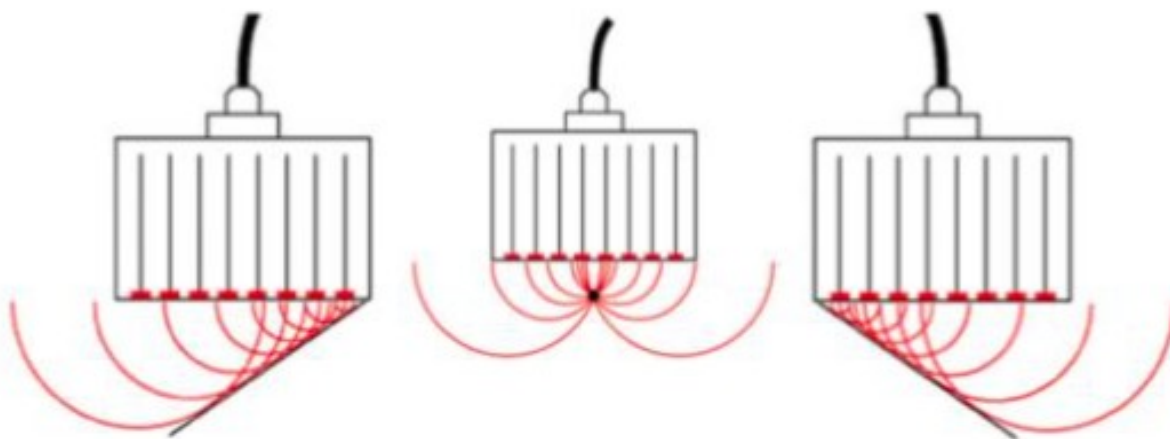


Рисунок 15 - Схема формирования результирующей волны с необходимым углом ввода.

В сравнении с УЗК, в котором используется одноэлементный преобразователь, метод ФР более совершенный. Потому что, контроль ФР осуществляется гораздо проще, качественнее, быстрее. Используются они в прикладных задачах дефектоскопии при техническом диагностировании.

У ФР есть ряд достоинств и преимуществ:

- Различные углы ввода УЗ пучков можно сгенерировать при помощи одного преобразователя, который охватывает гораздо большую область на наличие дефектов;
- Большой охват позволяет, как уменьшить скорость сканирования объекта, так и увеличить разрешающую способность контроля, или совмещать их обеих;
- Получение реальных изображений положения и размеров дефектов, а также их интерпретация происходит гораздо быстрее и проще;
- Все данные, учитывающие последовательность контроля, могут быть записаны в реальном времени;

Отчеты представляются в виде изображения, что облегчает упрощение понимания результатов контроля для персонала;

По всем этим преимуществам можно судить о том, что с каждым днем возможности УЗК постоянно совершенствуются, а именно расширяется теоретическая база, развивается аппаратура, улучшаются интерфейсы приборов [28].

Визуализация УЗК также совершенствуется: для того чтобы облегчить работу операторов в дефектоскопах применяются LCD-мониторы (цветные мониторы) с подробной детализацией. Развитие методик архивирования и документирования результатов контроля выводит УЗК на принципиально новый уровень. Раньше протоколы УЗК составлялись непосредственно со слов дефектоскопистов, а сейчас оборудование само дает возможность проводить запись результатов контроля автоматически в файл, а также параллельно составляет трехмерное изображение обнаруженных несплошностей (дефектов).

Документирование результатов контроля при техническом диагностировании оборудования дает возможность дефектоскопистам при потребности воссоздать процесс контроля и более подробно изучить структуру изделия в нужной зоне, а также рассмотреть обнаруженные дефектоскопистом дефекты для принятия решения согласно технического состояния конструкции.

Чаще всего используют две основные формы. Одна из них более распространена в медицинских рентгенографических системах. Здесь используются продольные волны с отклонением под малыми углами. В данных системах используются призмы интерфейса 0 градусов. На Рисунке 16 показано, что получаемое изображение, которое показывает дефекты на разной глубине и под разными углами.

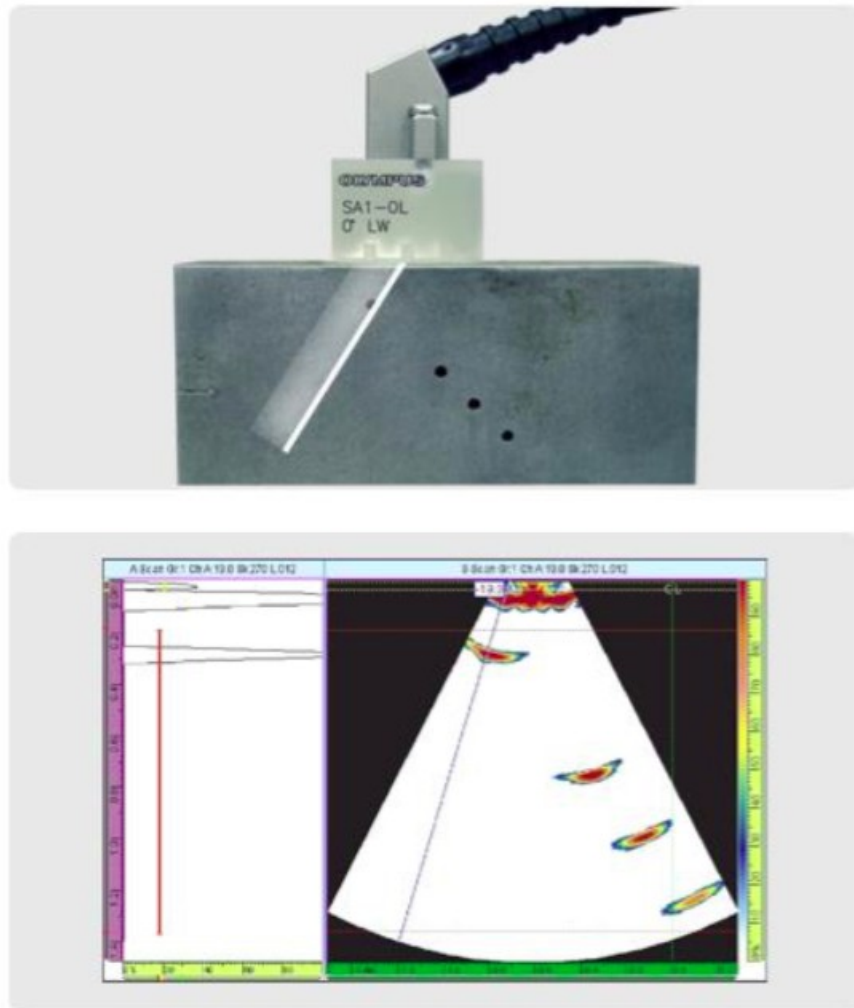


Рисунок 16 - Секторное сканирование на фазированных решетках.

Диапазон от -30 до 30 градусов.

В другом формате используется пластиковая наклонная призма, которая увеличивает угол падения луча, для того чтобы создать поперечные волны. Чаще всего используются в диапазонах углов преломления от 35 до 70 градусов. Это показано на Рисунке 17. Такая техника отличается от традиционного контроля тем, что луч проходит через диапазон углов, а не под постоянным углом. На получаемом изображении формируется поперечный профиль зоны контроля

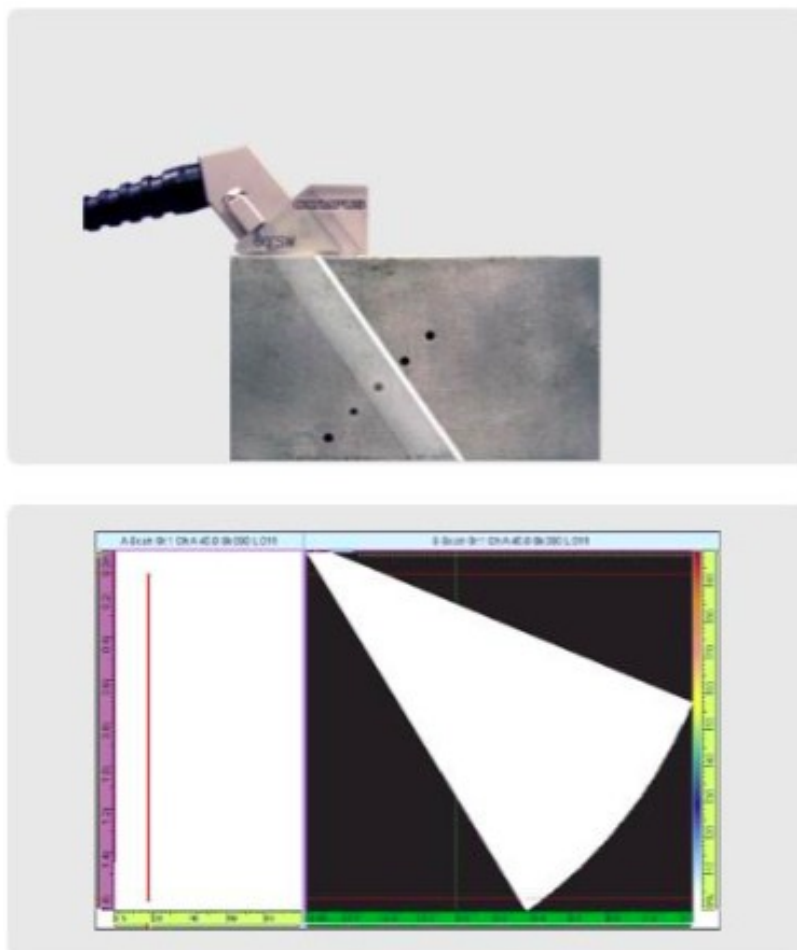


Рисунок 17 - Секторное сканирование на фазированных решетках.

Диапазон от 35 до 70 градусов.

Генерирование изображения в реальном времени происходит за счёт совмещения А-сканов. Для создания секторного профиля специалист определяет разрешение шага и начало и конец угла. Каждый угол который был задан создает луч с определенными характеристиками, которые определяются частотой, демпфированием, амплитудой и т.п. Определенным цветом и под определенным углом строится и оцифровывается А-скан для каждого угла, который создает секторное изображение.

Для того, чтобы создать динамическое изображение по мере того, как движется преобразователь секторное сканирование производится в режиме реального времени. Использование нескольких углов контроля увеличивает вероятность обнаружения дефектов и обеспечивает нужную для контроля визуализацию дефектов, особенно это нужно когда они расположены в разным местах объекта контроля.

2. РАЗРАБОТКА АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА

2.1.Проектирование установки

Разрабатываемый в ВКР аппаратно-программный комплекс по своему назначению будет системой для секторного сканирования.

Система должна быть универсальной, чтобы была возможность применять её в различных условиях эксплуатации. Возможность эта появится благодаря тому, что система является относительно компактной.

Помимо этого, у комплекса должна быть возможность передачи данных на ПК, для более удобного детектирования и хранения информации о контроле изделия.

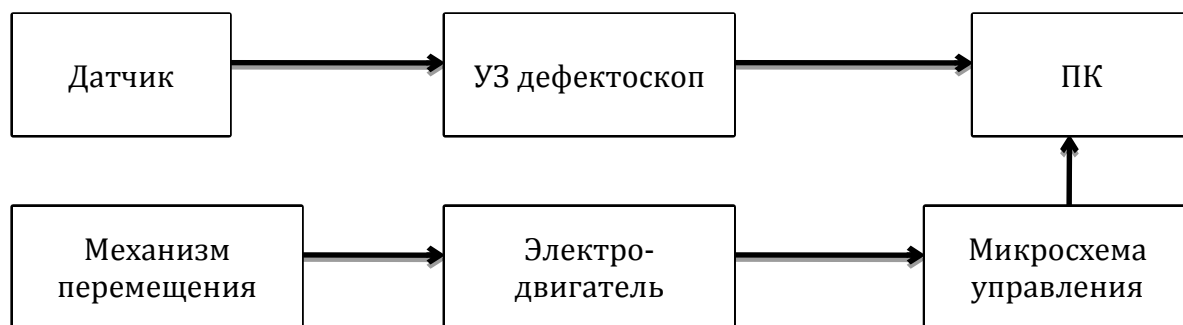


Рисунок 18. Структурная схема разрабатываемого комплекса.

На приведенной схеме используются следующие обозначения:

Датчик - определяет расстояние до объекта, измеряя время отображения звуковой волны от объекта. Частота звуковой волны находится в пределах частоты ультразвука, что обеспечивает концентрированное направление звуковой волны, так как звук с высокой частотой рассеивается в окружающей среде меньше.

Ультразвуковой дефектоскоп - применяются для обнаружения дефектов в металлоконструкциях, магистральных трубопроводах, листовом прокате и других металлических и неметаллических объектах. Делятся на ручные – дефектоскопист делает все операции контроля, механизированные – прибор сканирует объект без участия дефектоскописта, и автоматические –

дефектоскопист не участвует в определении координат отражателей и построении дефектограммы.

Механизм перемещения содержит ведущий шкив, два ведомых шкива и ремень для передачи крутящего момента от ведущего шкива к ведомым.

Электрический двигатель, сокращенно электродвигатель - электрическая машина, при помощи которой электрическая энергия преобразуется в механическую, для приведения в движение различных механизмов. Электродвигатель является основным элементом электропривода.

Микросхема управления - это комплектующую часть для нужной конечной системы управления, которая, кроме текущей платы, должна иметь в себе источник питания и систему управления с интерфейсом ввода-вывода данных. В качестве системы управления и интерфейса ввода-вывода может служить компьютер, для подключения которого на плате инвертора предусмотрен разъем интерфейса RS-232. Возможен также работа платы инвертора в режиме демонстрации, с выполнением некоторых основных функций, например, запуск двигателя, остановка, реверс, изменение скорости.

Персональный компьютер – это устройство на которое отправляется вся информация из дефектоскопа, для более удобного нахождения дефектов, а так же для хранения данных о контроле изделия. Помимо этого он нужен, для управления микросхемой.

2.2.Функциональные особенности

Всё управление данным аппаратно-программным комплексом осуществляется с ПК. На ПК должны быть установлены следующие программы: UdOscill и mLaser. UdOscill – программа для передачи в ПК в реальном времени сигналов, а также копирования полного вида экрана в буфер обмена, для составления отчетов, методик контроля и пр. документов. mLaser – программа для управления перемещения датчика закрепленного на одном из валов.

2.3.Описание аппаратно-программного комплекса для секторного сканирования.

В состав разработанного комплекса входит иммерсионная ванна с маслом в которую помещается объект для исследования.

На балку закрепляются электродвигатель (ведущий шкив) и два ведомых шкива. На другой стороне вала на котором размещен один из шкивов располагается крепление для ультразвукового преобразователя, в которое в дальнейшем устанавливается преобразователь. Балка крепится на конструкцию которая устанавливается на поверхность над иммерсионной ванной.

Также на конструкцию устанавливают схему управления. К этой схеме управления подключается питание 12V и кабель USB, который подключается к ПК.

Преобразователя подключается к дефектоскоп УСД-60, который по средствам кабеля Ethernet подсоединен к ПК.

2.4.Принцип работы аппаратно-программного комплекса

Через программу mLaser задаем цикличную траекторию движения датчика. В программе UdOscill подключаемся к УСД-60 и выбираем режим «В-развёртка».

Вращение электродвигателя приводит в движение ременную передачу через шкив, которая в свою очередь начинает вращать ведомые шкивы. Центральный ведомый шкив, на котором с обратной стороны вала закреплён преобразователь, начинает качаться вокруг своей оси, тем самым отклоняя преобразователь на нужный угол.

Преобразователь передаёт информацию на дефектоскоп УСД-60, который в свою очередь загружает данные на ПК через кабель Ethernet.

В итоге получаем альтернативное изображение секторного сканирования.

2.5. Проверка работоспособности данного комплекса

В иммерсионную ванну помещаем объект контроля, объектом контроля в данном случае служат отражатели закрепленные на пластину из дюралюминия. Устанавливаем объект на расстоянии 80 мм от преобразователя.

Отражатель

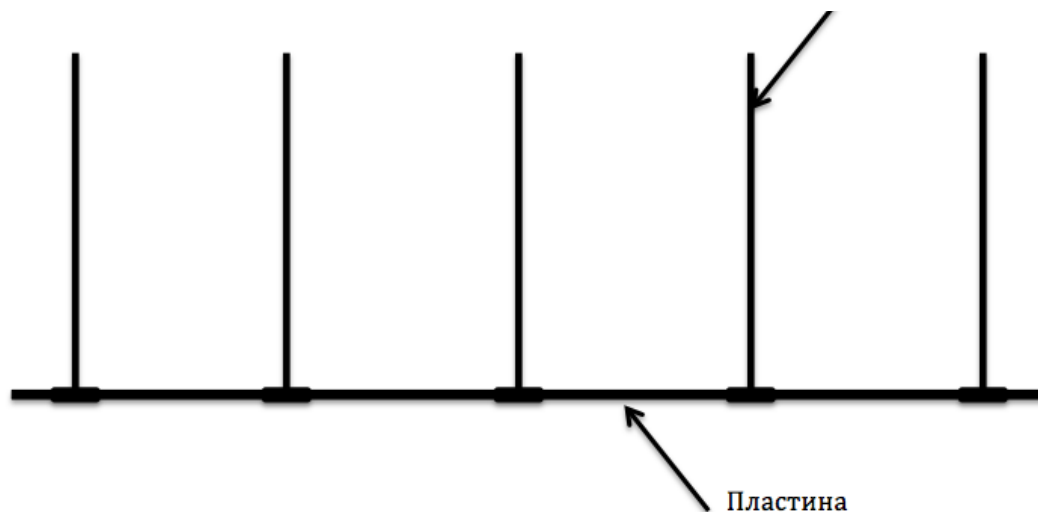


Рисунок 19. Объект контроля для проверки работоспособности системы.

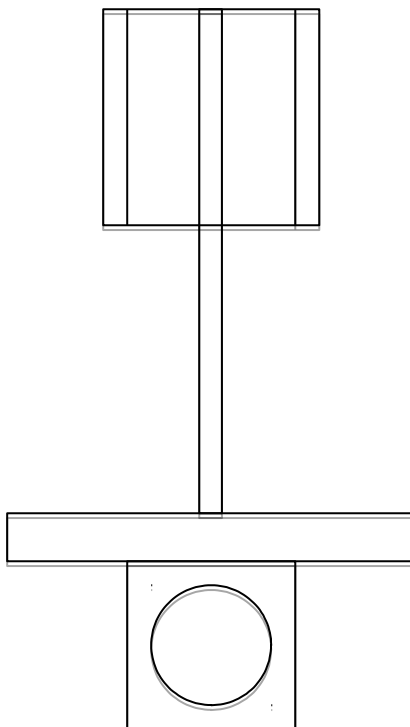


Рисунок 20. Разработанное крепление для преобразователя

В данном исследовании будет использоваться прямой преобразователь. Этот преобразователь устанавливается в специально разработанное крепление для данного комплекса.

Запускаем электродвигатель через программу mLaser и задаем угол поворота датчика на 90 градусов, для того, чтобы луч прошел через весь объект контроля.

Запускаем на ПК программу UdOscill и устанавливаем режим «В-развёртки». В итоге на мониторе ПК отображаются все 5 гвоздей объекта контроля.

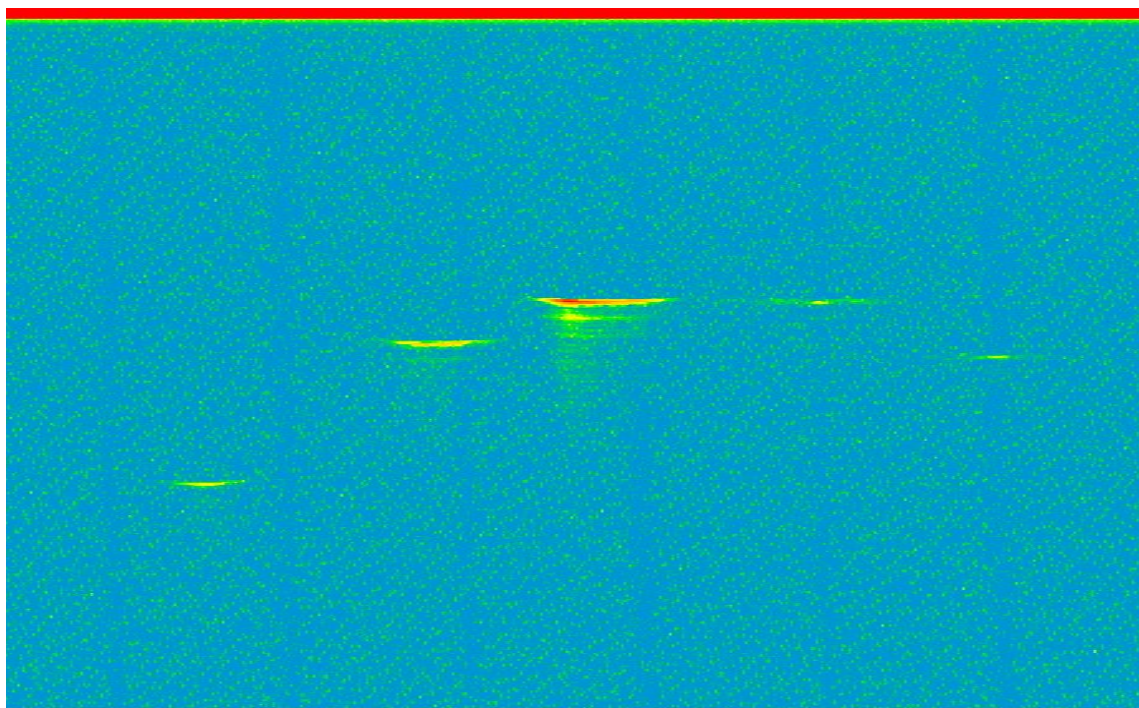


Рисунок 21. Модифицированное секторное изображение с развёрткой каждого луча

2.6. Секторное сканирование на фазированных решетках

В настоящее время существует также секторное сканирование при котором получение томограммы сечения основывается на использовании

качающегося пучка излучения, формируемого преобразователем на фазированных решетках.

Для проведения секторного сканирования на фазированных решетках будем использовать дефектоскоп OmniScan MX PA.

OmniScan MX PA – это модульный дефектоскоп от фирмы OLYMPUS на ультразвуковых фазированных решетках. OmniScan MX PA – переносной прибор, с возможностью ручного и автоматического контроля дефектов. OmniScan позволяет делать полномасштабное секторное сканирование сложных геометрических объектов и позволяет сохранить полученный результат.



Рисунок 21. Ультразвуковой дефектоскоп OmniScan MX PA.

Методика фазированных решеток OmniScan основывается на генерации ультразвукового луча, с возможным изменением его параметров, таких как угол наклона, фокусное расстояние, размер фокуса с помощью программного обеспечения. Помимо этого, область генерирующая этот луч, способна мультиплексироваться вдоль длинной решетки. Данные свойства открывают несколько новых возможностей в сфере дефектоскопии. К примеру, сейчас существует вероятность быстрого изменения угла ввода луча с целью выполнения контроля детали без изменения положения самого датчика.

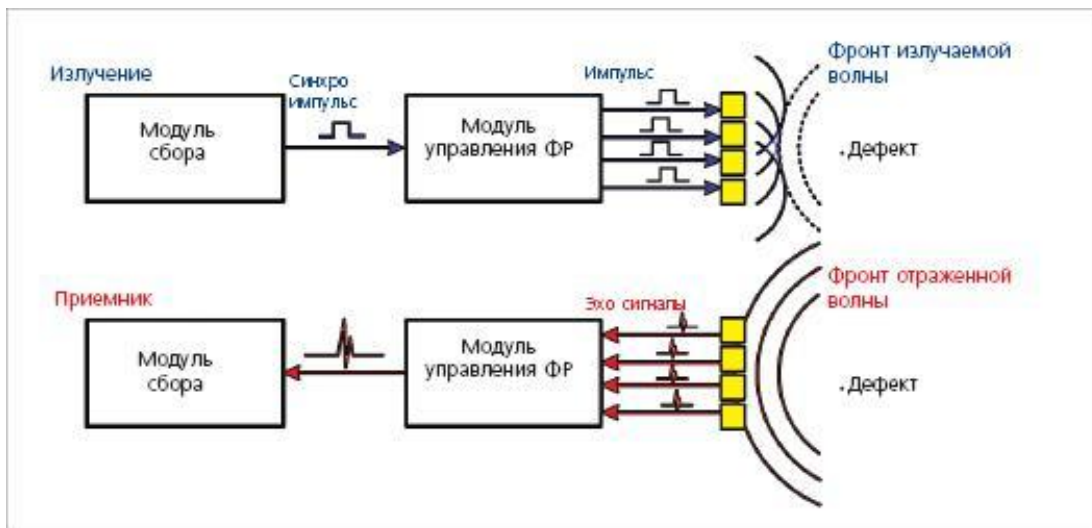


Рисунок 22. Технология УЗ ФР контроля.

Фазированные решетки кроме того предполагают замену многоэлементных датчиков и даже механических деталей.

Дефектоскопия детали с изменением угла ввода дает максимальный эффект вне зависимости от ориентации дефекта, при рациональном соотношении сигнал/шум.

Программное обеспечение УЗК методом фазированных решеток.

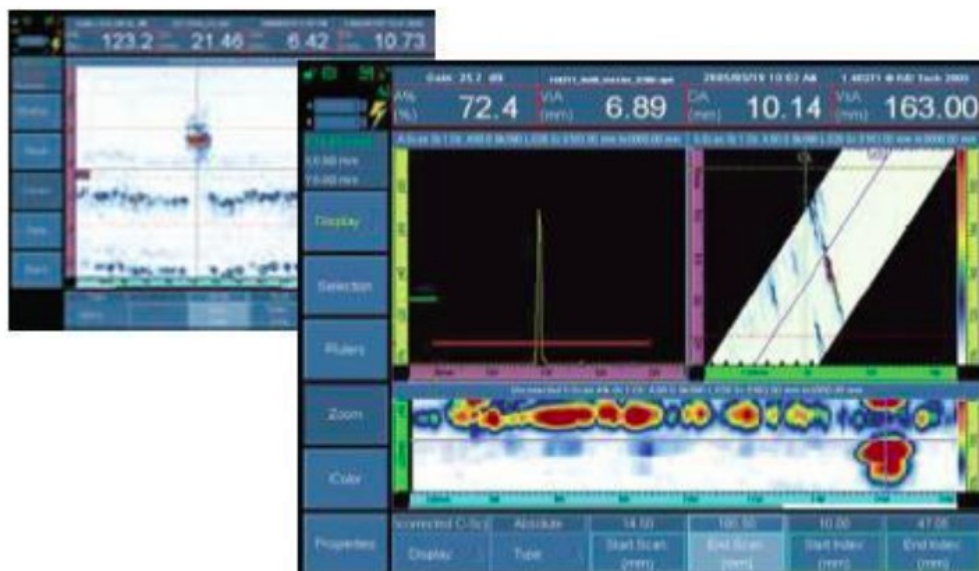


Рисунок 23. Полнофункциональные А, В, С – сканы

Данный дефектоскоп поддерживает отображение полнофункциональных А, В, С – сканов.

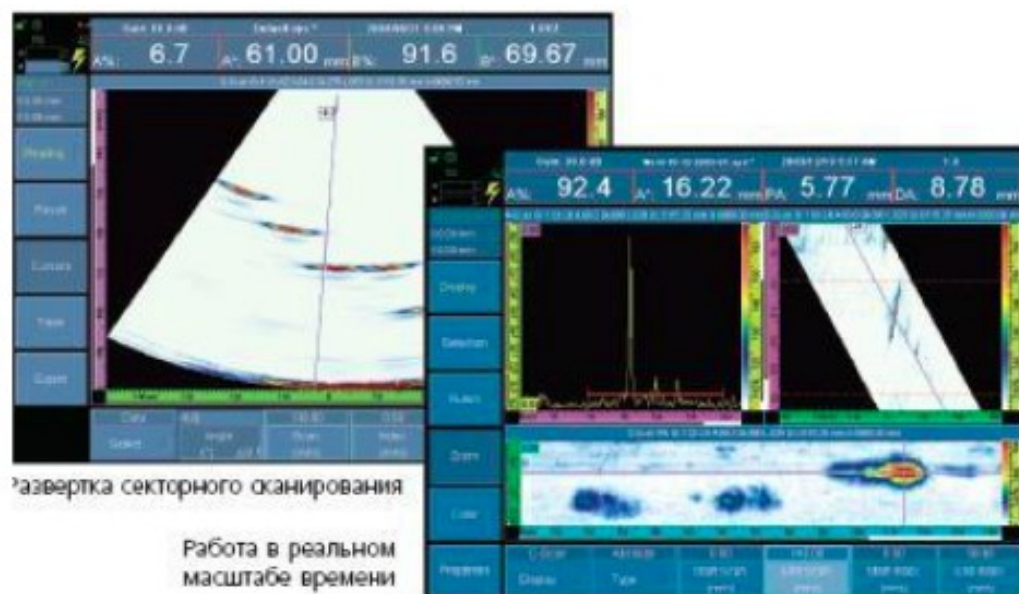


Рисунок 24. Развертка секторного сканирования и работа в реальном времени.

На рисунке 24 изображено отображение в ортогональной системе координат и в реальном масштабе времени. Частота обновления составляет более 20 Гц.

3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Данная работа посвящена разработке аппаратно-программного комплекса для ультразвуковой томографии на основе секторной развёртки с использованием преобразователя на фазированной решётке. Основной задачей было разработать механизм для перемещения ПЭП, организовать связь механизма с компьютером, хранение и обработку массива экспериментальных данных, формирование секторной томограммы изделия

3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

3.1.1. Анализ конкурентных технических решений

Основным конкурентом разрабатываемой технологии контроля является система «HARFANG VEO».

Дефектоскоп обеспечивает высокую производительность контроля изделий из металла за счёт применения многоканальных преобразователей на фазированных решётках, в том числе роликового типа. В дефектоскопе реализовано множество как стандартных для УЗ дефектоскопии функций, так и передовых конструкторских решений. Среди них есть и весьма оригинальные. В HARFANG VEO, например, применяется схема компенсации изменения расстояния до поверхности контролируемого объекта за счёт изменения геометрии резиновой шины валика

Таблица 1

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _{к2}	Б _{к1}	Б _{к2}	Б _{к1}

Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
Удобство эксплуатации	0.2	5	3	1	0.6
Энергоэкономичность	0.1	5	2	0.5	0.2
Надежность	0.1	4	3	0.4	0.3
Уровень шума	0.1	4	2	0.4	0.2
Простота эксплуатации	0.1	4	3	0.4	0.4
Качество интеллектуального интерфейса	0.1	4	2	0.4	0.2
Возможность подключения к ЭВМ	0.1	4	4	0.4	0.4
Экономический критерий					
Цена	0.1	4	5	0.4	0.5
Срок выхода на рынок	0.1	5	2	0.5	0.2
Итого	1	39	26	4.4	3

$B_{к2}$ – баллы конкурентной системы;

$B_{к1}$ – баллы разрабатываемой системы.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i * B_i \quad (1)$$

Принципиальное отличие многоканальных дефектоскопов с фазированной решёткой от одноканальных приборов для УЗ контроля заключается в следующем. В одноканальных приборах есть один угол ввода и один А-эхо-импульсный сигнал. Когда мы используем многоканальные дефектоскопы с программным обеспечением, позволяющим одновременно обрабатывать отражённые волны от всех элементов с определённой задержкой по фазе, у нас появляется возможность получения секторного вида, который строится из множества углов. Датчики фазированной решётки для HARFANG VEO состоят из 16 и более элементов (по общему количеству прямых и мультиплексированных каналов), выходящих на поверхность датчика и расположенных с определённым шагом. Расстояние между элементами зависит от частоты преобразователей. В стандартной линейке используются преобразователи с частотой 2.25, 5.0 и 7.5 МГц. Каждый из

элементов решётки излучает ультразвуковые колебания с определённой задержкой. Эта задержка называется "сдвиг по фазе". Отсюда и произошло название фазированной решётки. Изменяя задержки определённым образом, мы получаем фронт волны с определённым углом. В итоге мы наблюдаем секторный вид.

HARFANG VEO - секторное сканирование

Ультразвуковые дефектоскопы HARFANG имеют возможность построения секторного вида на основе трёх принципов:

- постоянное смещение;
- постоянный путь;
- постоянная глубина.

В зависимости от объекта контроля, который мы собираемся исследовать, выбирается тот или иной принцип формирования секторного вида.

Преимущества секторного сканирования на множестве углов ввода выражаются в получении большого количества А-сканов в единый момент времени, на основе которых и выстраивается секторный скан. Такая технология позволяет нам, не перемещая преобразователь поперечным движением, наблюдать дефекты, расположенные в пределах определённого объёма контролируемого изделия. Точно также, как и в одноканальных системах ультразвукового контроля, например, для контроля сварных соединений, мы используем однократное или двукратное отражение.

3.1.2. Технология QuaD

Технология QuaD (QQuality ADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект

В основе технологии QuaD лежит нахождение средневзвешенной величины следующих групп показателей:

1) Показатели оценки коммерческого потенциала разработки:

- влияние нового продукта на результаты деятельности компании;
- перспективность рынка;
- пригодность для продажи;
- перспективы конструирования и производства;
- финансовая эффективность.
- правовая защищенность и др.

2) Показатели оценки качества разработки:

- динамический диапазон;
- вес;
- ремонтпригодность;
- энергоэффективность;
- долговечность;
- эргономичность;
- унифицированность;
- уровень материалоемкости разработки и др.

Показатели оценки качества и перспективности новой разработки подбираются исходя из выбранного объекта исследования с учетом его технических и экономических особенностей разработки, создания и коммерциализации.

Для упрощения процедуры проведения QuaD рекомендуется оценку проводить в табличной форме (табл. 1).

В соответствии с технологией QuaD каждый показатель оценивается экспертным путем по стобальной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Таблица 1

Критерий оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный бал	Относительное значение	Средневзвешенное значение
Надежность	0.2	80	100	0.8	0.16
Унифицированность	0.1	30	100	0.3	0.03
Уровень шума	0.2	80	100	0.8	0.16
Простота эксплуатации	0.1	60	100	0.6	0.06
Ремонтопригодность	0.2	90	100	0.9	0.18
Экономический критерий					
Конкурентоспособность продукта	0.1	90	100	0.9	0.09
Цена	0.1	70	100	0.7	0.07
Итого	1	500	700	0.7	70

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$П_{cp} = \sum B_i * B_i$$

где $П_{cp}$ - средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – средневзвешенное значение i-го показателя.

Значение $П_{cp}$ позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Если значение показателя $П_{cp}$ получилось от 100 до 80, то такая разработка считается перспективной. Если от 79 до 60 – то перспективность выше среднего. Если от 69 до 40 – то перспективность средняя. Если от 39 до 20 – то перспективность ниже среднего. Если 19 и ниже – то перспективность крайне низкая.

По выполненным расчётам, приведённых в таблице 1, можно сделать вывод, что разрабатываемая система контроля, имеет перспективы на дальнейшее проведение исследований.

3.1.3. SWOT-анализ

SWOT анализ – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Данный этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Дадим трактовку каждому из этих понятий.

Таблица 2 Матрица SWOT

	Сильные стороны научно- исследовательского проекта:	Слабые стороны научно- исследовательского проекта:
	С1. Заявленная точность сканирования системы. С2. Экологичность технологии. С3. Низкая стоимость производства. С4. Наличие как бюджетного так и частного финансирования. С5. Квалифицированный персонал.	Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки Сл2. Отсутствие у потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой Сл3. Отсутствие инжиниринговой компании, способной построить производство под ключ Сл4. Большой срок поставок материалов и комплектующий, используемые при

		проведении научного исследования
Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт В3. Улучшение и развитие технологии контроля В4. Повышение стоимости конкурентных разработок	В2С1С3 Заявленная точность оборудования и более низкая стоимость производства могут привлечь дополнительный спрос на новый продукт.	В1Сл1Сл4 Использование инфраструктуры ТПУ позволит изготовить более надёжную и точную установку для исследований и подбора более подходящих материалов
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Ограничения на экспорт технологии У4. Введения дополнительных государственных требований к	У5С4 Так как данный проект финансирует частная организация, то отсутствие бюджетного финансирования не сильно повлияет на разработку. У4С5 При введении дополнительных сертификатов имеющийся персонал проведёт дополнительные испытания и исправит	У1Сл1 Отсутствие спроса на данную технологию не позволит проводить дальнейшие исследования и строить новые установки для их изучения. У2Сл4 При использовании ограниченного числа «простых» материалов и высокой конкуренции данная разработка быстро потеряет

сертификации продукции У5. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства	несоответствия если такие выявятся.	актуальность.
--	---	---------------

3.2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

В предыдущем разделе были описаны методы, которые позволяют выявить и предложить возможные альтернативы проведения исследования и доработки результатов. К их числу относятся технология QuaD, оценка конкурентных инженерных решений, SWOT-анализ. К ним можно добавить ФСА-анализ, метод Кано. Однако, в большей степени все приведенные методы ориентированы на совершенствование результатов научного исследования, находящегося на стадии создания макета, модели системы, прототипа, конечного продукта. Если разработка находится на перечисленных стадиях жизненного цикла нового продукта, можно предложить не менее трех основных вариантов совершенствования разработки или основных направлений научного исследования.

Морфологический подход основан на систематическом исследовании всех теоретически возможных вариантов, вытекающих из закономерностей строения (морфологии) объекта исследования. Синтез охватывает как известные, так и новые, необычные варианты, которые при простом переборе могли быть упущены. Путем комбинирования вариантов получают большое количество различных решений, ряд которых представляет практический интерес.

Реализация метода предусматривает следующие этапы.

1. Точная формулировка проблемы исследования.

2. Раскрытие всех важных морфологических характеристик объекта исследования.

3. Раскрытие возможных вариантов по каждой характеристике. В рамках этого этапа составляется морфологическая матрица. Пример морфологической матрицы для авторучки приведен в табл. 4

Таблица 4 Морфологическая матрица для аппаратно-программного комплекса

	1	2	3
А. Приведение в рабочее состояние	ручное	постоянно находится в рабочем состоянии	Автоматическое включение
Б. Управление комплексом	С ПК	Программное	Не управляется
В. Среда внутри зонда	вода	масло	спирт
Г. Перемещение при сканировании ОК	вращение преобразователя	перемещение преобразователя	Вращение ОК
Д. Крепление пьезопреобразователя	магнитное	С натягом	Не закрепляется

Выбор наиболее желательных функционально конкретных решений. На этом этапе описываются возможные варианты решения поставленной проблемы с позиции ее функционального содержания и ресурсосбережения. Для данной таблицы наиболее подходящими являются варианты:

А3Б1В2Г1Д12

3.2.1 Планирование научно-исследовательской работы

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ.

Таблица 5 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей.

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Выбор темы ВКР	1	Постановка задачи	Научный руководитель
Разработка технического задания	2	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель, инженер
	3	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель
Подбор и изучение материалов по тематике	4	Изучение методов исследования	Инженер
	5	Обзор литературы для проведения исследования	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Проведение расчетов и обоснований	Инженер
	7	Проведение опытов на установке	Инженер
Проведение ОКР			
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	10	Оформление расчетно-пояснительной записки	Инженер, научный руководитель
	11	Оформление методики калибровки	Инженер, научный руководитель
	12	Доклад и презентация	Инженер, научный руководитель

Таблица 6 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме.

Этап	T_{ki}	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май
------	----------	---------	--------	---------	--------	---------	------	--------	-----

	НР	И	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	4	0	■																				
2	2	2		■																			
3	4	0			■																		
4	0	23				■	■	■	■	■	■												
5	0	9					■	■	■	■	■	■											
6	0	9											■	■	■	■							
7	0	5															■	■	■	■			
10	1	6																		■			
11	2	12																			■		
12	1	1																			■	■	■

■ - научный руководитель, ■ - инженер

Вывод:

В рамках финансового менеджмента был проведён анализ конкурентоспособности разрабатываемой технологии с имеющимися системами на рынке. Также данная разработка была исследована путём SWOT анализа, в результате составления таблицы, были выявлены сильные и слабые стороны разработки. На конечной стадии работы был составлен график проведения научной работы.